

M. Lang

Unité de recherche Hydrologie-Hydraulique, Lyon

Résultats du projet ExtraFlo (ANR 2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes

1. Objectifs du projet
2. Méthodes d'estimation des crues extrêmes
3. Stratégie de comparaison
4. Jeux de données
5. Principaux résultats
6. Conclusion

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



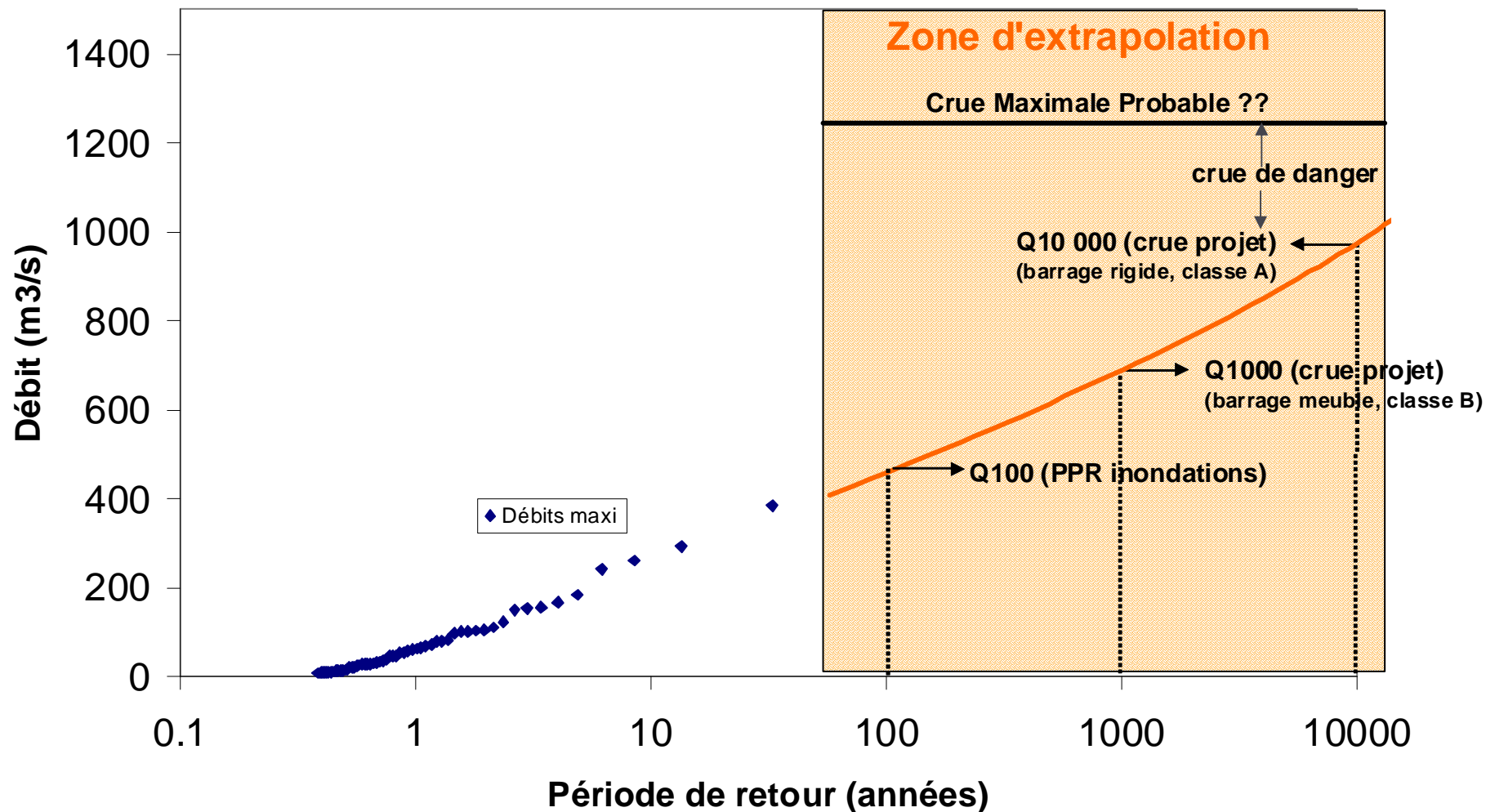
www.irstea.fr

Colloque SHF "Événements extrêmes d'inondation", Lyon, 13-14 novembre 2013



1. Objectifs du projet ExtraFlo

**Domaine d'étude : les valeurs extrêmes,
en général au-delà des événements observés**



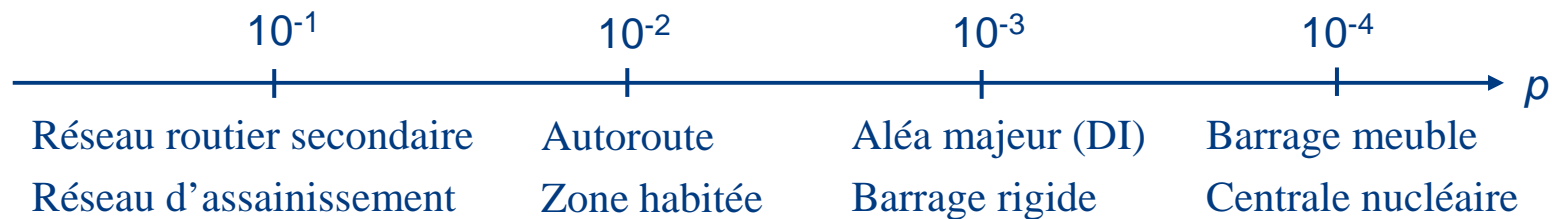


1. Objectifs du projet ExtraFlo

Inter-comparaison des méthodes de prédétermination des pluies et crues extrêmes utilisées en France

Plusieurs définitions de la valeur cible de référence

- ✓ Valeur associée à une probabilité annuelle de dépassement p



- ✓ Crue historique la plus forte connue ou la crue centennale si celle-ci est plus forte (PPRi)
- ✓ Limite du lit majeur susceptible de contenir l'enveloppe des plus grandes crues passées (approche hydro-géomorphologique)

Forte diversité des estimations suivant la méthodologie retenue

- besoin de progresser sur le choix entre méthodes
- ✓ Domaines respectifs d'application
- ✓ Points forts et lacunes des méthodes
- ✓ Sensibilité des résultats aux données



1. Objectifs du projet ExtraFlo

Schéma général du projet (ANR, 2009-2013)

I. Constitution de jeux de données test

Longues séries/ Jeux régionaux

Données naturalistes / Episodes remarquables

Partenaires

✓Irstea

✓Météo-France

✓HydroSciences Montpellier

✓EdF

✓GéoSciences Montpellier

II. Intercomparaison et validation

Stratégie d'intercomparaison

Estimation en site mesuré / peu ou pas mesuré

Partenaires invités

✓Cete Méditerranée

✓Dreal Midi-Pyrénées

✓Artelia, Electrabel

✓CNR

✓Universités

III. Diagnostic sur les domaines d'application

Incertitudes

Application en contexte non stationnaire

Pistes de recherche

IV. Transfert d'outils de prédétermination

Jeux de données, quantiles de pluie et de crue

Logiciel de digitalisation des pluviogrammes



2. Méthodes d'estimation des crues extrêmes

Principales méthodes testées

Estimation d'une crue maximale

- ✓ approche hydro-géomorphologique
- ✓ analyse paléo-hydrologique

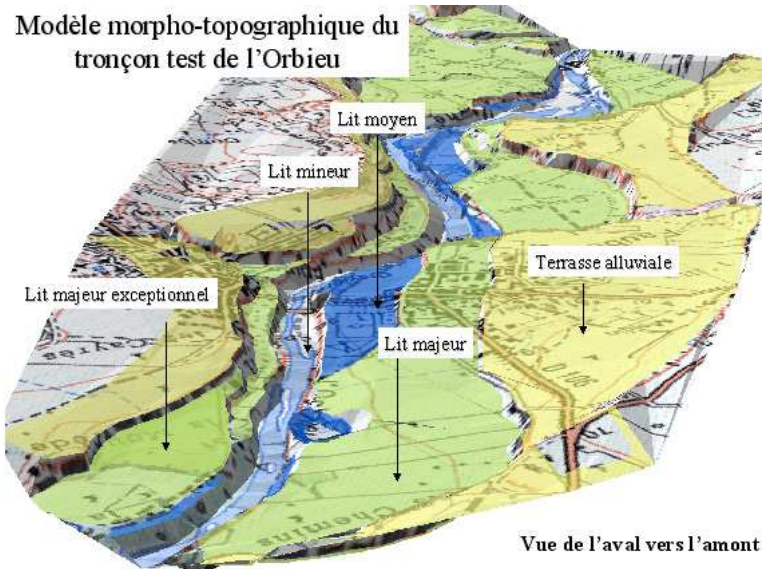
Estimation d'un quantile de crue (valeur de débit associée à une période retour ou une probabilité de dépassement)

- ✓ analyse probabiliste utilisant uniquement des séries de débit
 - approche locale, historique, régionale
- ✓ analyse probabiliste utilisant des séries de pluie et de débit
 - modèle simplifié (Gradex) ou simulation stochastique (Shypre, Schadex)

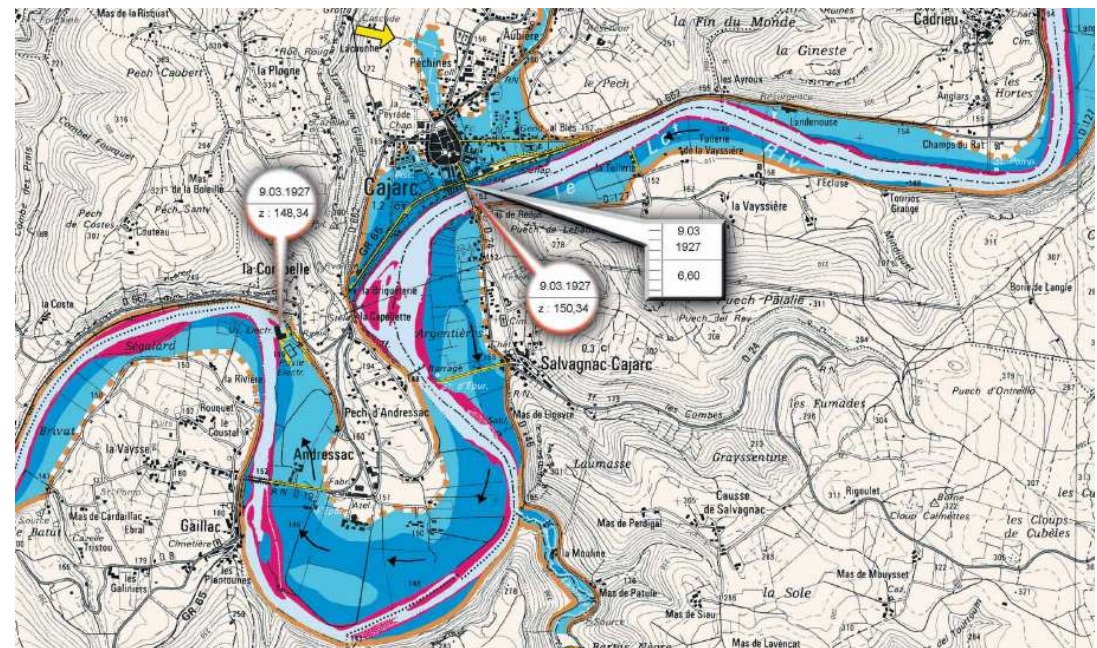
2.1 Crues maximales

Approche hydro-géomorphologique

- ✓ Analyse des unités principales du lit d'écoulement
cartes topo, stéréographies aériennes, reconnaissances de terrain
- ✓ Extension maximale du champ d'inondation



(Delgado, Cete Méditerranée)



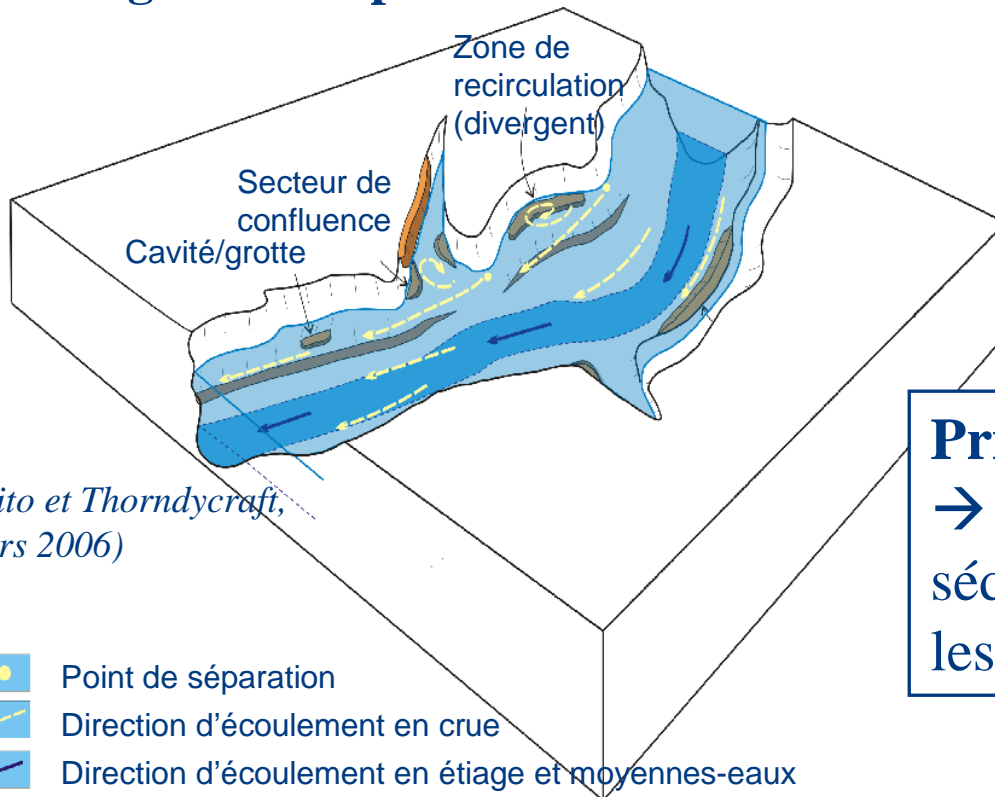
Cartographie Informative des Zones Inondables
CIZI: www.midi-pyrénées.ecologie.gouv.fr

2.1 Crues maximales

Paléohydrologie

- ✓ Analyse des dépôts laissés par les crues (champ d'inondations, grottes)
analyse stratigraphique, datation des dépôts
- ✓ Reconstitution des débits de crue et traitement statistique

Zones privilégiées de dépôt de sédiments de crue



(repris de Benito et Thorndycraft,
SHF Lyon, mars 2006)



Point de séparation

Direction d'écoulement en crue

Direction d'écoulement en étiage et moyennes-eaux

Principe

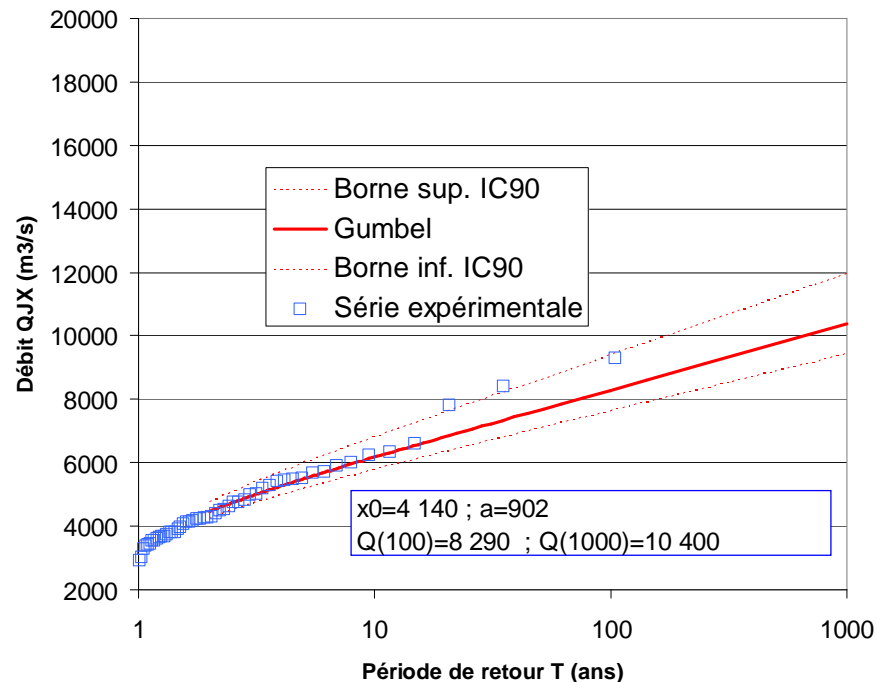
→ Exploiter les traces
sédimentaires laissées par
les crues anciennes

2.2 Analyse probabiliste des crues

Distribution du maximum annuel

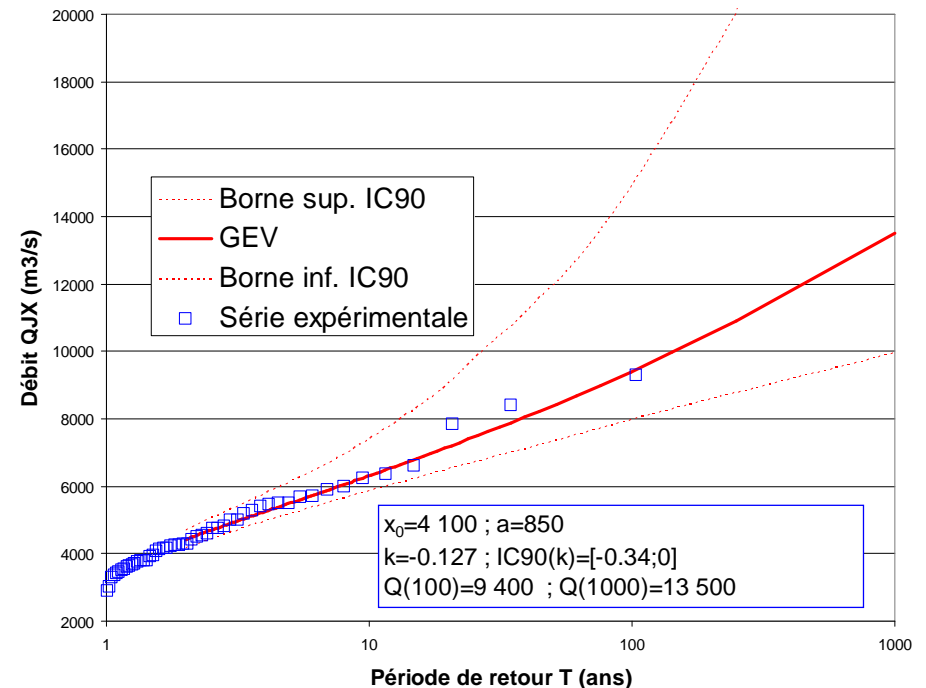
Exemple d'ajustement sur le Rhône à St Etienne-des-Sorts (1955-2001)

Loi de Gumbel ($k=0$)



Intervalle de confiance étroit,
mais loi de Gumbel adaptée?

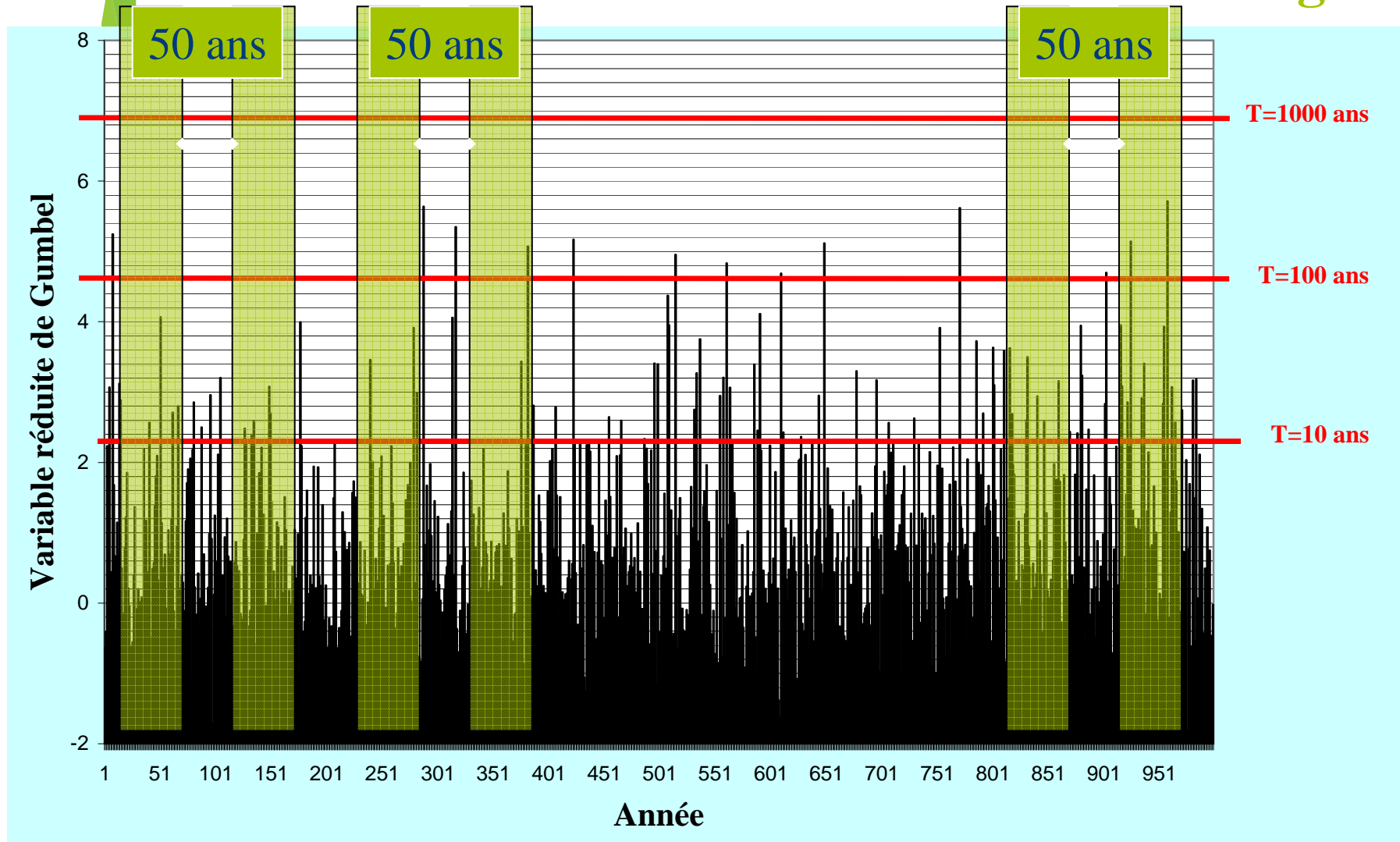
Loi GEV ($k=-0.127$)



Plus cohérent avec les observations,
mais forte incertitude

2.2 Analyse probabiliste des crues

Illustration de la distribution d'échantillonnage



→ en cas d'extrapolation, forte sensibilité à l'échantillonnage



2.2 Analyse probabiliste des crues

Recherche et exploitation d'informations complémentaires pour les crues

Augmenter la taille de l'échantillon

- ✓ reconstituer des événements antérieurs aux séries récentes (analyse documentaire, recherche de traces sédimentaires)
- ✓ agglomérer les records de crue à l'échelle régionale

Conditionner l'extrapolation à partir des pluies

- ✓ modèles probabilistes simplifiés pluie-débit (Gradex et variantes)
- ✓ couplage d'un simulateur d'averses et d'un modèle hydrologique (Shyreg, Schadex)



3. Stratégie de comparaison

Deux types d'évaluation

Application automatisée sur un très large jeu de données

- ✓ **Justesse d'estimation** : capacité à délivrer des estimations cohérentes avec les observations
 - « Le nombre observé de dépassement d'un quantile est-il cohérent avec sa probabilité théorique ? »
 - « La probabilité attribuée à la valeur la plus forte de l'échantillon est-elle cohérente avec les observations ? »
- Détection de méthodes sur-paramétrées, ou avec un biais d'estimation (sur ou sous-estimation)
- ✓ **Stabilité ou robustesse d'estimation** : sensibilité des estimations à l'échantillon disponible



Comparaison d'un panel plus large de méthodes sur bassins test

- ✓ Pas d'information sur la justesse
- ✓ Positionnement relatif des différentes méthodes



3. Stratégie de comparaison

Evaluation statistique sur un large jeu de données

Découpage du jeu de données en deux parties (split-sample)

- ✓ Jeu de calage (estimation des paramètres de chaque méthode de prédétermination)
- ✓ Jeu de validation (appréciation des performances de chaque méthode)

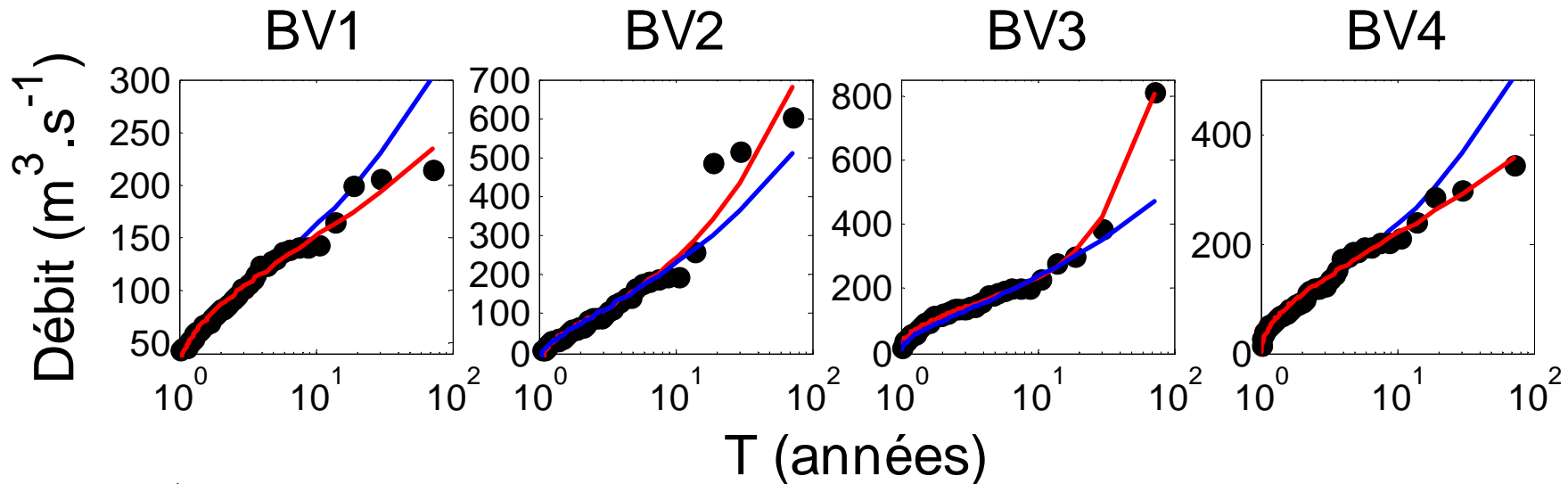
→ Deux modes d'évaluation

- ✓ Jeu de validation = Jeu de calage
« le dimensionnement vis à vis des crues extrêmes est-il satisfaisant vis à vis des crues qui ont été observées ? »
- ✓ Jeu de validation ≠ Jeu de calage
« le dimensionnement vis à vis des crues extrêmes est-il satisfaisant vis à vis des crues possibles ? »

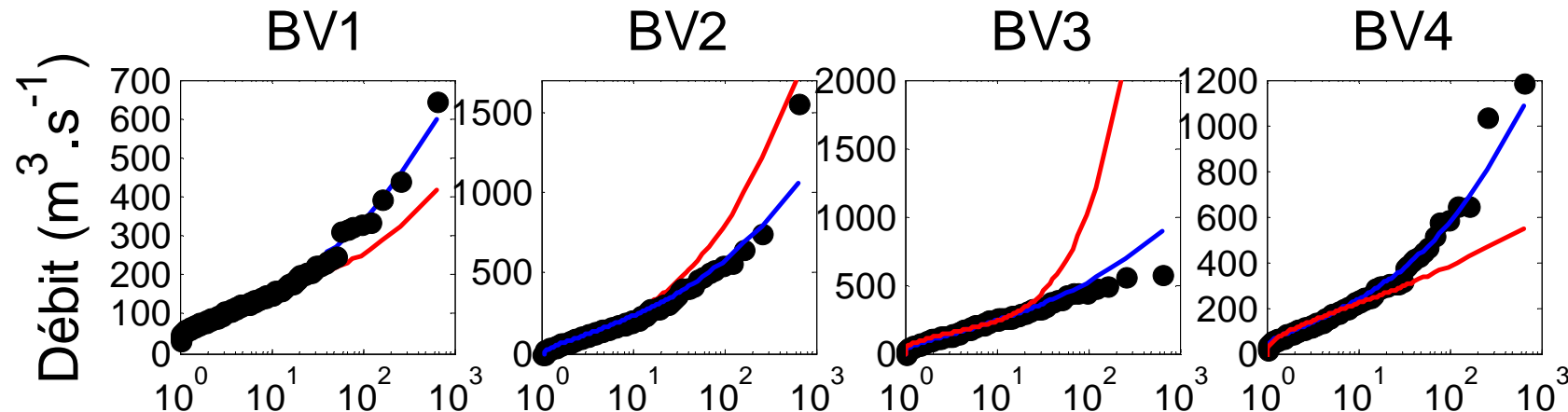
3. Stratégie de comparaison

Distinction entre pouvoir descriptif et prédictif

- ✓ Jeu de calage (*données simulées à partir de la distribution en bleu*)



- ✓ Jeu de validation (*distribution en rouge : polynôme d'ordre 5*)



4. Jeux de données

Données pluviométriques

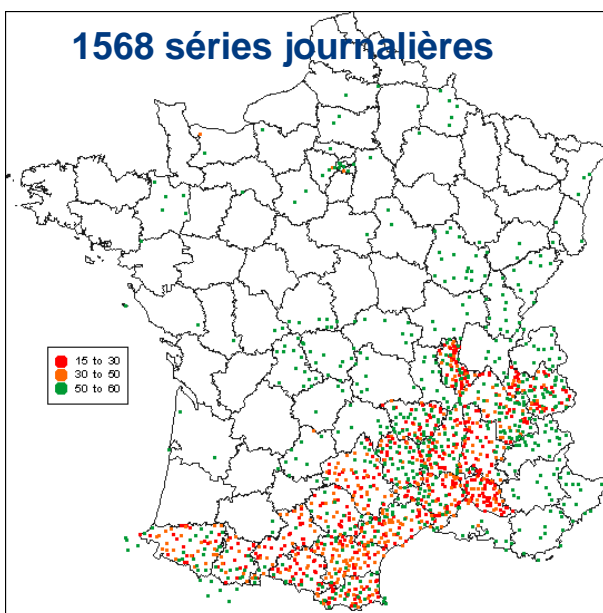
Pas de temps journalier (Météo-France, EDF)

- ✓ longues séries sur la métropole (446 séries avec au moins 50 ans)
→ numérisation de 150 années-stations pour rallonger 7 séries (6 mois de CDD)
- ✓ jeu régional dense secteur Pyrénées-Cévennes-Alpes du Nord
(1122 séries avec en moyenne 35 ans)

Pas de temps infra-journalier

- ✓ 18 séries ($\Delta t=1h$ et $6h$ avec au moins 50 ans, Météo-France)
- ✓ 28 séries ($\Delta t=6mn$ avec au moins 17 ans, Grand Lyon)

1568 séries journalières



18 longues séries horaires



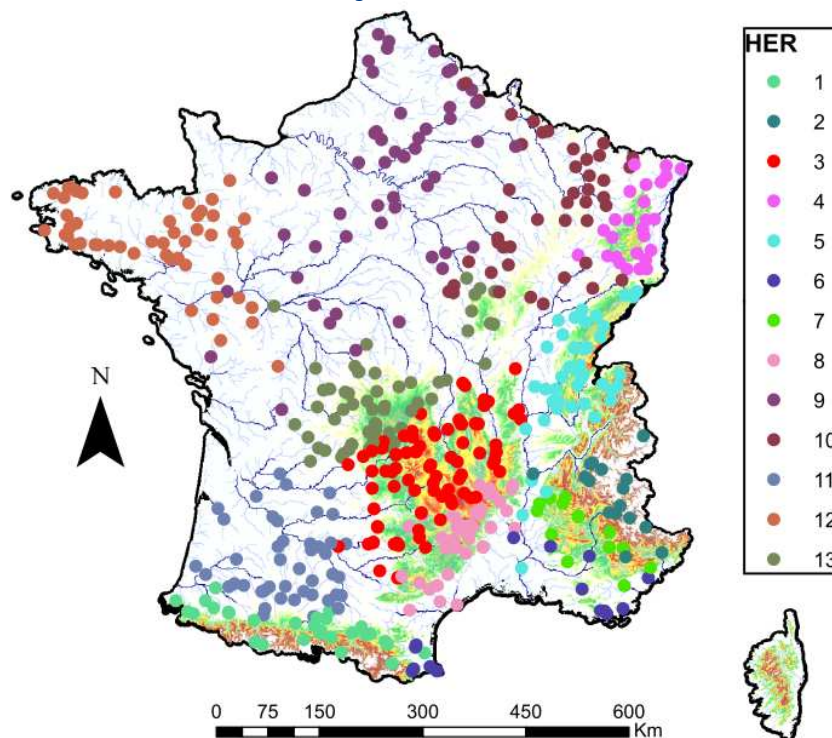
4. Jeux de données

Données hydrométriques

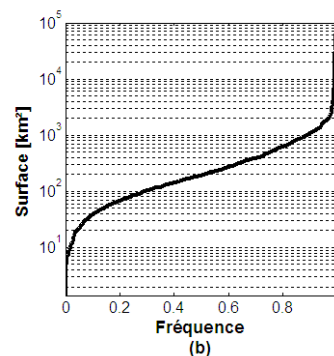
Jeux de données issus de la banque HYDRO

- ✓ 1170 séries journalières (croisement de 2 jeux de données critiquées : thèses B. Renard, 2006 et Y. Aubert, 2012)
- ✓ 605 séries à pas de temps variable

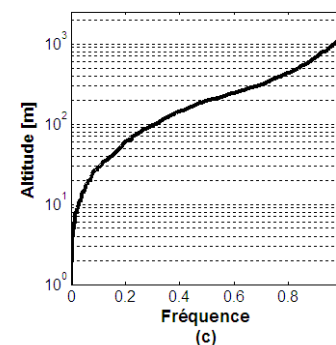
1170 séries journalières



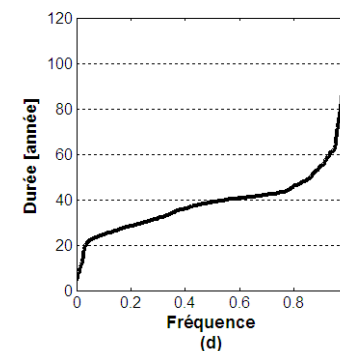
Distributions en termes de Superficie S



Altitude Z



Longueur N



80% des stations avec : $40 < S < 1000 \text{ km}^2$

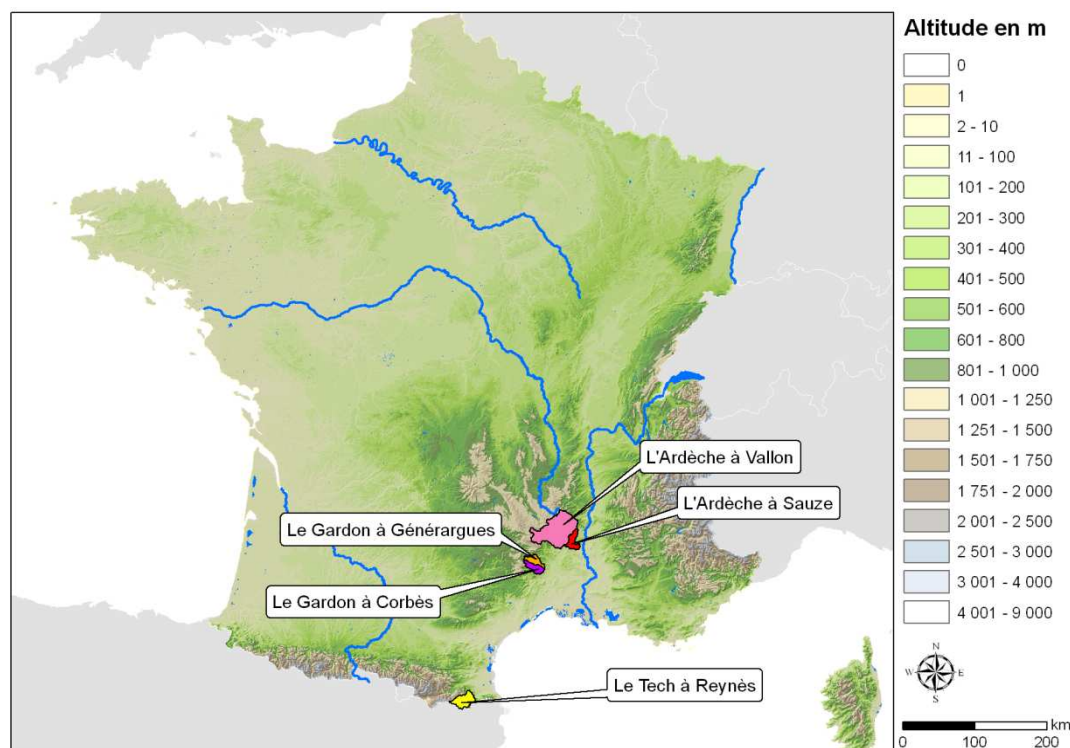
$30 < Z < 700 \text{ m}$

$25 < N < 55 \text{ ans}$

4. Jeux de données

Bassins test

- ✓ Ardèche (Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc - 1 930 km² - et à Sauze - 2 240 km²)
- ✓ Gardon (Gardon de Mialet à Générargues - 245 km² - et Gardon de Saint-Jean à Corbès - 263 km²)
- ✓ Tech (Tech à Reynès - 477 km²)



Paramètres collectés

- ✓ Température de l'air
(SPAZM, 1953-2010)
- ✓ Pluie de bassin
(avec 5 à 10 postes, 48 à 56 ans)
- ✓ Débit journalier et horaire
(10 à 40 ans; 30 ans)
- ✓ Crues historiques
(3 à 40 crues sur 1 à 3 siècles)



5. Principaux résultats

Pluies extrêmes en site jaugé

☹ **Approche standard non recommandée**

Ajustement des paramètres d'une loi de probabilité (GEV : max annuel; GP : sup-seuil) à partir d'une série locale de quelques dizaines d'années

- ✓ Loi à 2 paramètres (Gumbel, Expo) : sous-estimation des pluies fortes
- ✓ Loi à 3 paramètres (GEV, GP) : estimation peu robuste, très sensible à la présence de valeurs singulières

😊 **Trois approches recommandées**

- ✓ **Approche régionale (type index-flood) avec loi GEV** : meilleurs résultats en terme de justesse et de robustesse
- ✓ **Approche par simulateur d'averses (SHYREG-Pluies)** : résultats proches, et valeurs directement disponibles pour différents cumuls (entre 1h et 72h)
- ✓ **Approche par type de temps (loi MEWP)** : bons résultats en terme de robustesse et en second rang pour la justesse (cf. améliorations possibles en secteur méditerranéen). Directement applicable pour une pluie de bassin



5. Principaux résultats

Pluies extrêmes en site non jaugé

☹ **Approche standard non recommandée**

Estimation des paramètres d'une loi de probabilité au droit de tous les postes voisins, et recherche d'une régression multiple pour expliquer ces paramètres en fonction de co-variables géographiques

😊 **Deux approches recommandées**

- ✓ **Approche par simulateur d'averses (SHYREG-Pluies) :** meilleurs résultats en terme de justesse et de robustesse. Quantiles disponibles sur l'ensemble du territoire métropolitain (cumuls entre 1h et 72h, période de retour entre 2 et 1000 ans)
- ✓ **Approche régionale (type index-flood) avec loi GEV :** bons résultats en terme de justesse, et un peu moins robustes qu'avec SHYREG-Pluies

Légère dégradation des performances entre une approche mixte locale-régionale et un modèle purement régional : relative bonne adéquation du réseau de mesure pluviométrique journalier à la variabilité spatiale des précipitations (à nuancer en zone d'altitude, et pour les intensités infra-journalières)



5. Principaux résultats

Crues extrêmes en site jaugé

- ☹ **Approche standard non recommandée**
Ajustement des paramètres d'une loi de probabilité (GEV : max annuel; GP : sup-seuil) à partir d'une série locale de quelques dizaines d'années

- 😊 **Trois approches recommandées**
 - ✓ **Approches de simulations basées sur l'information pluviométrique :** meilleurs résultats en terme de justesse et de robustesse avec SHYREG-Débit. La méthode SCHADEX (non testée en mode automatisé) relève de la même famille.
 - ✓ **Approche locale-régionale (type index-flood) avec loi GEV :** bons résultats (assez proches de SHYREG-Débit) et de meilleure qualité en secteur méditerranéen. En secteur océanique, l'utilisation d'une loi Gumbel est acceptable.
 - ✓ **Approche exploitant l'information historiques sur les crues** (non testée en mode automatisé) : résultats voisins de ceux obtenus à partir d'une information pluviométrique



5. Principaux résultats

Crues extrêmes en site non jaugé

- ☹ **Approche standard non recommandée**
Même type d'approche que pour les pluies (régression multiple sur les paramètres d'une distribution à l'aide de co-variables géographiques)
 - ☹ **Aucune approche ne donne de bons résultats en terme de justesse**
 - ✓ **Approche de simulation SHYREG-Débits** : de loin la méthode la plus robuste. Tendance à la sur-estimation en secteur méditerranéen. Quantiles disponibles sur l'ensemble du territoire métropolitain (débits de pointe, débits moyens entre 1h et 72h, période de retour entre 2 et 1000 ans). Limitations rappelées aux usagers : très petits ou très grands bassins (hors gamme 10-2000 km²); bassins spécifiques (influence nivale, karst, barrages, zone urbaine).
 - ✓ **Approche régionale (type index-flood) avec loi GEV** : résultats corrects, un peu moins robustes qu'avec SHYREG-Débits. Résultats de meilleure qualité en secteur méditerranéen.
- Forte dégradation des performances entre une approche mixte locale-régionale et un modèle purement régional** : interpolation spatiale plus difficile à réaliser que pour les pluies (cf. discontinuités sur réseau hydrographique)



6. Conclusions

A ce stade

- ✓ Approche locale peu robuste pour les événements extrêmes
→ alternatives via approches régionales ou par simulation
- ✓ Influence prépondérante du choix de méthodes capables d'incorporer des informations complémentaires
puis choix d'une distribution, puis choix d'une méthode d'estimation
- ✓ Intérêt des critères de justesse et robustesse pour donner des indications pratiques (cf. résultats spécifiques en secteur médit., océanique)
- ✓ Approches naturalistes intéressantes pour obtenir des informations complémentaires aux observations hydro-météo

Pistes de recherche

- ✓ Traitement probabiliste en cadre non stationnaire
- ✓ Prise en compte des incertitudes (distribution prédictive)
- ✓ Approche par simulation de cotes dans une retenue

Pour en savoir plus

- ✓ Deux posters sur les résultats ExtraFlo (pluies; débits)
- ✓ Séminaire de restitution ExtraFlo le 15 novembre 2013
- ✓ Site Web : <http://extraflo.irstea.fr/>

